

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **05241209 A**(43) Date of publication of application: **21.09.93**

(51) Int. Cl.

G02F 1/35**H01S 3/094****H01S 3/10****H04B 10/16**(21) Application number **04044544**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**(22) Date of filing: **02.03.92**(72) Inventor: **KINOSHITA SUSUMU**(54) **OPTICAL AMPLIFIER CONTROL SYSTEM**

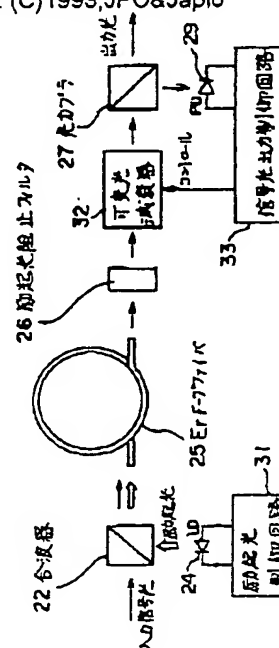
noise characteristic at the wide input levels.

(57) Abstract

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

PURPOSE: To constitute the above system in such a manner that automatic photooutput control (APC) is executed while the internally generated noises are kept low at wide input levels.

CONSTITUTION: Stimulating light to put an Er-doped fiber 25 in an amplified state is kept maintained at the specified value sufficient for optical amplification by a stimulating light control circuit 31. The control of the light output level of the optical amplifier is executed by controlling the light attenuation quantity of a variable light attenuator 32 in accordance with the electric signal from a photodetector 29 for monitoring output light which receives a part of the output light from the variable light attenuator 32 and photoelectrically converts this light so as to suppress the fluctuation in the output light by a signal light output control circuit 33. Since the Er-doped fiber 25 is sufficiently excited, the naturally released light coefft. proportional to the noise electric power generated within the optical amplifier is kept always in the low state. The APC is thus realized with the low



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-241209

(43)公開日 平成5年(1993)9月21日

(51)Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K		
H 0 1 S 3/094				
3/10	Z	8934-4M		
		8934-4M	H 0 1 S 3/ 094	S
		8426-5K	H 0 4 B 9/ 00	J

審査請求 未請求 請求項の数8(全14頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平4-44544

(22)出願日 平成4年(1992)3月2日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 木下 進

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大宮 義之 (外1名)

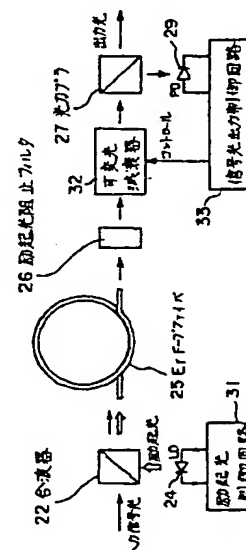
(54)【発明の名称】 光増幅器制御システム

(57)【要約】

【目的】 広い入力レベルにおいて、内部で発生する雑音を低い状態に維持しつつ自動光出力制御 (A P C) が行われるようにする。

【構成】 励起光制御回路31により、E r ドープファイバ25を増幅状態におく励起光を、光増幅器に充分な一定値に維持させておく。光増幅器の光出力レベルの制御は、信号光出力制御回路33により出力光の変動を抑制するように、可変光減衰器32からの出力光の一部を受光して光電変換する出力光モニタ用受光器29からの電気信号に基づき、該可変光減衰器32の光減衰量を制御して行う。E r ドープファイバ25は十分に励起されているので、光増幅器内部で発生する雑音電力に比例する自然放光係数を常に低い状態に維持することができ、広い入力レベルにおいて、低雑音特性でA P Cが実現される。

本発明のAPCE実現する光増幅器制御システム
の構成を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光を増幅する光増幅媒体(1)と、
該光増幅媒体(1)を増幅状態におくための励起光を、
光増幅に充分な一定値に維持する励起光制御手段(2)

と、
前記光増幅媒体(1)の出力側に設けられ、該光増幅媒体(1)からの光を減衰させて出力することが可能な可変光減衰手段(3)と、

該可変光減衰手段(3)からの出力光に基づき、該可変光減衰手段(3)の光減衰量を制御することにより光増幅器の光出力を一定に制御する光出力制御手段(4)

と、
を有することを特徴とする光増幅器制御システム。

【請求項2】 入力光を増幅する光増幅媒体(1)と、
該光増幅媒体(1)を増幅状態におくための励起光を、
光増幅に充分な一定値に維持する励起光制御手段(2)

と、
前記光増幅媒体(1)の出力側に設けられ、該光増幅媒体(1)からの光を減衰させて出力することが可能な可変光減衰手段(3)と、

前記入力光に対する前記可変光減衰手段(3)からの出力光の比に基づき、該可変光減衰手段(3)の光減衰量を制御することにより光増幅器の利得を一定に制御する利得制御手段(5)と、

を有することを特徴とする光増幅器制御システム。

【請求項3】 前記可変光減衰手段(3)は、ファラデー回転子(81)を用いて形成されることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【請求項4】 前記可変光減衰手段(3)は、半導体変調器(101)を用いて形成されることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【請求項5】 前記可変光減衰手段(3)は、液晶(111)を用いて形成されることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【請求項6】 前記可変光減衰手段(3)は、光の結合系(121)における結合位置を変化させて結合効率を変化させる装置であることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【請求項7】 前記可変光減衰手段(3)は、円板状の光減衰器(131)を用いて形成されることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【請求項8】 前記可変光減衰手段(3)は、光学フィルタ(141)のフィルタ特性を利用する装置であることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器制御システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】近年、光通信システムの研究開発が精力的に進められ、光増幅技術を利用したブースターアンプ、リピータ、ブリアンプの重要性が明らかになっ

てきている。本発明は、これら光増幅器の制御システムに係り、特に光増幅媒体の出力側に可変光減衰手段を設け、励起光強度を光増幅に充分な一定値に維持しながら該可変光減衰手段を制御することにより、光増幅器の光出力、さらには光増幅器の利得を制御する光増幅器制御システムに関する。

【0002】

【従来の技術】光通信システムにおいて、光増幅器をブースターアンプ、リピータ、ブリアンプとして適用しようとする場合には、光増幅器の制御が不可欠である。従来の、例えば光増幅媒体としてエルビウム(Erbium、以下Erで示す)ドープファイバが用いられる光増幅器に、図15に示すようなものがある。

【0003】図15に示すように、入力信号光(例えば、波長 $1.55\mu\text{m}$)の一部は光カブラ21で分岐され、残りの入力信号光は合波器22に入力され、制御回路23の制御を受ける半導体レーザダイオード等の励起光源24から出力される励起光(例えば、波長 $1.48\mu\text{m}$)と合波され、その後Erドープファイバ25に入力される。ここで、励起光源24はErドープファイバ25中のErイオンにエネルギーを与え、電子を励起してErドープファイバ25を増幅状態におくために設けられている。

【0004】Erドープファイバ25に入力した信号光は、該Erドープファイバ25中で増幅作用を受け、その後励起光阻止フィルタ26に出力される。そして、該励起光阻止フィルタ26に入力した光の内、励起光成分はその進行を阻止され、増幅された信号光と自然放光のみが光カブラ27に入力され、該光カブラ27でその一部が分岐された後、残りが外部に出力される。

【0005】上記において、各々の光カブラ21、27で分岐された一部の入力信号光および出力光は、フォトダイオード等の入力光モニタ用受光器28及び出力光モニタ用受光器29で各々受光されて電気信号に変換され、制御回路23に出力される。

【0006】そして、制御回路23により光増幅器としての重要な制御である出力光強度を一定に保つ自動光出力制御(以下、APCという)、及び入力光強度に対する出力光強度(利得)を一定に保つ自動利得制御(以下、AGCという)が行われる。

【0007】ここで、APCは、出力光モニタ用受光器29から入力される電気信号を常に一定値に制御することにより行われ、AGCは、入力光モニタ用受光器28から入力される電気信号に対する出力光モニタ用受光器29から入力される電気信号の比を常に一定値に制御することにより行われるが、両者ともに例えば励起光源24の駆動電流を変化させて、即ち励起光強度を変動制御することで行われてきた。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図15に示

す上記の従来構成の光増幅器では、APC、AGCを行うのに励起光強度を変動制御することで行っており、例えば入力信号光強度が大きくなると励起光強度を小さくするような制御が行われてきた。

【0009】これは、励起光強度を一定にしておく、光増幅器への入力信号光強度が大きい時には出力光強度が所望の値より大きくなってしまいうため、この対策として、余分な光部品を必要とせず構成が簡易となることもあって、この場合増幅の割合を下げるために励起光強度を小さくするような制御が行われている。

【0010】ここで、励起光強度を任意の値に一定に保持した状態で、光増幅器（媒体）へ入力する信号光強度を大きくして行くと、光増幅媒体中を通過する信号光強度が大きいために、光増幅媒体内で励起されて上順位にある電子が全て下順位に落ちてしまい増幅が弱くなる現象、即ち飽和現象が生じてしまう。このとき、励起光強度が大きければ大きい程、より大きい入力信号光強度に対しても飽和しなくなる。しかし、上記のように、従来構成の光増幅器では、入力信号光強度が大きい時に出力光強度が所望の値より大きくなってしまいうことへの対策として励起光強度を小さくする制御を行うから、それまで飽和が生じていなかった（或いは、飽和が小さかった）のに対して、光増幅媒体に飽和が生じてしまうことになる。

【0011】飽和が生じた状態で入力信号光を増幅すると、増幅器内部から発生する雑音の強度は、同一増幅度（利得）において、飽和が生じていない状態で増幅する場合に較べて大きくなることは、ここで詳述しないが明らかにされていることである。

【0012】尚、入力信号光が誘導放出を伴って同一波長を保ったままどんどん強度が大きくなるのが光の増幅であり、この場合入力信号光を忠実に反映するのに対し、入力信号光とは全く無関係に、励起された上順位の電子が下順位に落ちるときに放出される自然放出光を、本発明では、雑音としている。自然放出光も入力信号光と同一波長であるから、入力信号光と区別されず増幅を受ける。

【0013】このように、光増幅器への入力信号光強度が大きくなると励起光強度を小さくする様に制御をしているために、結果として光増幅媒体に飽和が生じてしまい、光増幅器内部で発生する雑音が増加するといった問題があった。

【0014】このことから、光増幅器を入力レベルに応じて多様に設計する必要があった。具体的には、光前置増幅器、光中継器、光電力増幅器などの使用目的に応じて、例えば光増幅媒体としてのErドープファイバの長さを最適化する必要があった。しかし、量産することを考えると、同一仕様の光増幅器（例えば、Erドープファイバの場合には、ファイバ長を同一とする）が全てに適用できることが望まれていた。

【0015】本発明の課題は第1に、広い入力レベルにおいて、内部で発生する雑音を低い状態に維持しつつ、自動光出力制御（APC）が行われる光増幅器制御システムを実現できるようにすることであり、第2に、広い入力レベルにおいて、内部で発生する雑音を低い状態に維持しつつ、自動利得制御（AGC）が行われる光増幅器制御システムを実現できるようにすることである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様の手段は次の通りである。光増幅媒体1（図1の原理ブロック図参照、以下同じ）は、例えば、Erドープファイバから成り、入力される信号光を増幅して出力する。

【0017】励起光制御手段2は、例えば半導体レーザーダイオードから成る励起光源の駆動電流を調節することで、光増幅媒体1を増幅状態におくための励起光を、例えばシステムにおいて許容される最大値に予め設定された値を常に維持するように制御する。

【0018】可変光減衰手段3は、光増幅媒体1の出力側に設けられ、光増幅媒体1で増幅されて入力する光を自在に減衰させて出力する。光出力制御手段4は、例えば可変光減衰手段3からの出力光をモニタする受光器を備え、該受光器で受光され光電変換されて入力される電気信号に基づき、出力光の変動を抑制する方向に該可変光減衰手段3の光減衰量を制御して光増幅器の光出力を一定に制御する。

【0019】本発明の第2の態様の手段は次の通りである。光増幅媒体1（図2の原理ブロック図参照、以下同じ）は、例えばErドープファイバから成り、入力される信号光を増幅して出力する。

【0020】励起光制御手段2は、例えば半導体レーザーダイオードから成る励起光源の駆動電流を調節することで光増幅媒体1を増幅状態におくための励起光を、例えばシステムにおいて許容される最大値に予め設定された値を常に維持するように制御する。

【0021】可変光減衰手段3は、光増幅媒体1の出力側に設けられ、光増幅媒体1で増幅されて入力する光を自在に減衰させて出力する。利得制御手段5は、例えば入力光をモニタする受光器と可変光減衰手段3からの出力光をモニタする受光器を備え、入力光をモニタする受光器で受光され光電変換されて入力される電気信号に対する、出力光をモニタする受光器で受光され光電変換されて入力される電気信号の比に基づき、可変光減衰手段3の光減衰量を制御して光増幅器の利得を一定に制御する。

【0022】

【作用】先ず、本発明の原理を説明する。光増幅器（例えば、光増幅媒体として、Erドープファイバが用いられているとする）を低雑音で動作させる上で、重要なことは、Erドープファイバを常に十分に励起しておくことである。近年のErドープファイバの効率の向上及び

励起用半導体レーザの高出力化を考慮すると、Erドープファイバに充分な励起光強度を供給できる技術は確立されている。

【0023】以下に詳述するように、光増幅媒体を充分に励起しておくことによって、光増幅器内部で発生する雑音電力に比例する自然放出光係数を、広い入力レベル*

$$P_{ASE}(\nu) = 2 n_{sp} h \nu (G - 1) \quad (W/Hz)$$

【0026】と光フィルタの帯域幅 Δf との積で表され、
※【0027】

$$P_{ASE} = 2 n_{sp} h \nu (G - 1) \Delta f \quad (W)$$

【0028】で与えられる。ここで、 n_{sp} は自然放出光係数、 G は光増幅器の利得、 h はプランクの定数、 ν は信号光の周波数である。上式から明らかなように、自然放出光係数は雑音電力（自然放出光強度）に比例する。

【0029】また、十分に励起しておくとき自然放出光係数は小さな値を保つが、飽和が生じてくると自然放出光係数は大きくなる。なぜなら、自然放出光係数 n_{sp} は電子が上準位に分布するErイオンの密度 n_2 、および電子が基底準位（下準位と言うより基底準位と呼んだ方がよい）に分布するErイオンの密度 n_1 を用いて以下の☆20

充分な励起状態： $n_2 \gg n_1 \rightarrow n_{sp} \approx 1 \dots \dots$ 低雑音

飽和状態： $n_2 \approx n_1 \rightarrow n_{sp} > 1 \dots \dots$ 雑音大

【0033】となるからである。また、上述したが、光増幅器の出力光を一定に保つために励起光強度を制御により下げるとは光増幅特性の劣化を招き好ましくない。

【0034】そこで、光増幅媒体を可能な限り充分に励起しておいて、光増幅器の光出力レベルは新たに設けた光出力制御部で行う構成とすれば、広い入力レベルにお

いて低雑音でAPCが達成される。
【0035】また、光増幅媒体を可能な限り充分に励起しておいて、光増幅器の利得は新たに設けた利得制御部で行う構成とすれば、広い入力レベルにおいて低雑音でAGCが達成される。

【0036】本発明は、上記原理に基づいてなされたもので、第1の態様においては、光増幅媒体1は励起光制御手段2により可能な限り充分に励起されている状態において入力信号光を増幅し、光増幅器の光出力レベルは光出力制御手段4により可変光減衰手段3の光減衰量を

制御することにより行われる。
【0037】また、第2の態様においては、光増幅媒体1は励起光制御手段2により可能な限り充分に励起されている状態において入力信号光を増幅し、光増幅器の利得は利得制御手段5により可変光減衰手段3の光減衰量を制御することにより行われる。

【0038】従って、広い入力レベルにおいて低雑音特性でAPC、さらにはAGCが行われる光増幅器制御システムが実現できる。このため、同一光増幅器を光前置増幅器、光中継器、光電力増幅器として目的に応じて使

*において常に低い状態に維持することが可能となり、低雑音な光増幅器が実現される。

【0024】即ち、雑音電力（パワー）は単位周波数当たりの自然放出光強度 $P_{ASE}(\nu)$

【0025】
【数1】

※【0027】
【数2】
☆様に定義されるからである。
【0030】
【数3】

$$n_{sp} = n_2 / (n_2 - n_1)$$

【0031】ここで、簡単には、 n_2 を上準位の電子の数、 n_1 を基底準位の電子の数と考えても良い。したがって、光を増幅する状態では n_2 は常に n_1 より大きいものの、

【0032】
【数4】

用することができる。

【0039】

【実施例】以下、本発明の実施例を図3乃至14を参照しながら説明する。図3は、本発明のAPCを実現する光増幅器制御システムの構成を示す図である。尚、図15に示す従来例と同一部材には同一符号を付して重複説明を省略する。

【0040】図3に示すように、本実施例においては、光増幅媒体としてのErドープファイバ25を増幅状態におくための励起光を、設定された一定値に維持するように制御する励起光制御回路31と、Erドープファイバ25の出力側に設けられた可変光減衰器32と、該可変光減衰器32の減衰量を制御する信号光出力制御回路33と、を含むことを特徴とする。

【0041】励起光制御回路31は、各部品及びシステム寿命を考慮した上で、例えば半導体レーザダイオードLD等の励起光源24の駆動電流を調節することで、Erドープファイバ25を励起するのための励起光強度を、システムに許容される最大値に予め設定された値を常に維持するように制御する。

【0042】可変光減衰器32は、励起光阻止フィルタ26を通過して入力する増幅された信号光及び自然放出光を自在に減衰させる。信号光出力制御回路33は、光カプラ27により分岐された一部の出力光を受光して光電変換する出力光モニタ用受光器29から入力される電気信号に基づき、出力光の変動を抑制する方向に可変光減衰器32の減衰量を制御することによって、光増幅器

の出力を一定に制御する。

【0043】図4は、図3の信号光出力制御回路33の構成図である。(a)は模式的回路例、(b)は(a)に示す回路の出力Gの説明図、(c)は(a)に示す回路の動作の概念的説明図である。

【0044】図4(a)に示すように、信号光出力制御回路41は、出力光モニタ用受光器29の接地側に設けられた抵抗R_tと差動増幅器42を含んでいる。そして、該差動増幅器42の正入力端子には基準電圧V_{ref}が入力され、その負入力端子と、出力光モニタ用受光器29と抵抗R_tとの間に位置する端子t₁とが接続されている。

【0045】従って、光カブラ27(図3参照)で分岐された一部の出力光は、出力光モニタ用受光器29でフォトリントに光電変換され、抵抗R_tで生じた電圧降下による電圧V_{in}が差動増幅器42の負入力端子に入力する。よって差動増幅器42の出力Gは、基準電圧V_{ref}と受光される出力光に対応する電圧V_{in}との差(に比例する値)となる。この差動増幅器42の出力Gを制御電圧V_{cont}〔G(V_{ref} - V_{in}) = V_{cont}〕として利用する。

【0046】例えば、何らかの要因により、光増幅器からの出力光強度が増加すれば、受光器29で受光され光電変換されて発生する電圧V_{in}も増加する。この場合、図4(b)に示す関係から明らかのように、差動増幅器42の出力Gは減少する。即ち、図4(c)に示すように制御電圧V_{cont}も減少する。信号光出力制御回路41はこの制御電圧V_{cont}の減少に対応して、可変光減衰器32(図3参照)の透過率を下げる(減衰量を増加する)ような制御を行う。逆に、出力光強度が減少した場合は、電圧V_{in}が減少し、図4(b)から分かるように、差動増幅器42の出力Gは増加する。従って、図4(c)に示すように、制御電圧V_{cont}も増加するので、可変光減衰器32の透過率を上げる(減衰量を減少させる)ような制御を行う。

【0047】図5は、図3の信号光出力制御回路33の他の例の構成図であり、(a)は模式的回路例、(b)は(a)に示す回路の出力Gの説明図、(c)は(a)に示す回路の動作の概念的説明図である。

【0048】図5(a)に示すように、光出力制御回路51では、図4(a)に示す回路41とは異なり、差動増幅器52の負入力端子に基準電圧V_{ref}が入力され、その正入力端子と、出力光モニタ用受光器29と抵抗R_tとの間に位置する端子t₁とが接続されている。

【0049】従って、光カブラ27(図3参照)で分岐された一部の出力光は、出力光モニタ用受光器29でフォトリントに光電変換され、抵抗R_tで生じた電圧降下による電圧V_{in}が差動増幅器52の正入力端子に入力する。よって、差動増幅器52の出力Gは、受光される出力光に対応する電圧V_{in}と基準電圧V_{ref}との差(に

比例する値)となる。この差動増幅器52の出力Gを、制御電圧V_{cont}〔G(V_{in} - V_{ref}) = V_{cont}〕として利用する。

【0050】例えば、何らかの要因により、光増幅器からの出力光強度が増加すれば、受光器29で受光され光電変換されて発生する電圧V_{in}も増加する。この場合、図5(b)に示す関係から明らかのように、差動増幅器52の出力Gは増加する。即ち、図5(c)に示すように制御電圧V_{cont}も増加する。

【0051】信号光出力制御回路51は、この制御電圧V_{cont}の増加に対応して、可変光減衰器32(図3参照)の透過率を下げる(減衰量を増加する)ような制御を行う。逆に、出力光強度が減少した場合には、電圧V_{in}が減少し、図5(b)から分かるように、差動増幅器52の出力Gは減少する。従って、図5(c)に示すように、制御電圧V_{cont}も減少するので、可変光減衰器32の透過率を上げる(減衰量を減少させる)ような制御を行う。

【0052】このように、信号光出力制御回路33(41, 51)は、出力光強度の変動により制御電圧V_{cont}に変動が生じた場合には、該制御電圧V_{cont}の増減に従い、出力光強度の増加分、減少分を打ち消す方向に、可変光減衰器32の透過率(減衰量)を増減するように制御する。

【0053】本実施例は、上記のように構成されているから、入力信号光(例えば、波長1.55μm)は合波器22に入力され、励起光制御回路31の制御を受ける励起光源24から出力される励起光(例えば、波長1.48μm)と合波され、E_rドープファイバ25に入力される。ここで、励起光は、予め設定された値であるシステムに許容される最大値に維持されて出力されている。

【0054】E_rドープファイバ25に入力した信号光はE_rドープファイバ25中で増幅作用を受け、励起光阻止フィルタ26に出力される。励起光阻止フィルタ26に入力した光の内の励起光成分はその進行を阻止され、増幅された信号光と自然放光のみが光カブラ27に入力され、その内の一部が分岐され残りが外部に出力される。

【0055】光カブラ27で分岐された一部の出力光はフォトダイオード等の出力光モニタ用受光器29で受光されて電気信号に変換され、信号光出力制御回路33に出力される。

【0056】そして、信号光出力制御回路33からは図4及び図5を参照して説明したように、受光された出力光に対応する電圧V_{in}と基準電圧V_{ref}との差である制御電圧V_{cont}が出力される。

【0057】今、何らかの負荷変動により出力光が変動した場合には、図4及び図5を参照して説明したように信号光出力制御回路33は、出力光の変動を抑制するように可変光減衰器32の減衰量を増減させるから、光出

力は常に一定値に維持され、APCが実現される。

【0058】この場合、Erドープファイバ25は、励起光制御回路31により充分に励起されているから、光増幅器内部で発生する雑音電力に比例する自然放出光係数を、広い入力レベルにおいて常に低い状態に維持できる。よって、広い入力レベルにおいて、低雑音でAPCが実現される。

【0059】図6は、本発明のAGCを実現する光増幅器制御システムの構成図である。尚、図15に示す従来例、及び図3に示す実施例と同一部材には同一符号を付して、重複説明を省略する。

【0060】図6に示すように、本実施例においては、光増幅媒体としてのErドープファイバ25を増幅状態におくための励起光を設定された一定値に維持するように制御する励起光制御回路31と、Erドープファイバ25の出力側に設けられた可変光減衰器32と、該可変光減衰器32の減衰量を制御する利得制御回路34と、を含むことを特徴とする。

【0061】ここで、励起光制御回路31及び可変光減衰器32は、図3に示す構成例と同一部材が用いられるので説明を省略する。利得制御回路34には、光カブラ21により分岐された入力信号光を受光して光電変換する入力光モニタ用受光器28からの電気信号、及び光カブラ27により分岐された出力光を受光して光電変換する出力光モニタ用受光器29からの電気信号が入力される。

【0062】そして、利得制御回路34は、入力光モニタ用受光器28からの電気信号に対する出力光モニタ用受光器29からの電気信号の比に基づき、出力光の変動を抑制する方向に可変光減衰器32の減衰量を制御することにより、光増幅器の利得を一定に制御する。

【0063】図7は、図6に示す利得制御回路34の模式的構成図である。図7に示すように、利得制御回路34は、出力光モニタ用受光器29の接地側に抵抗R_gが設けられ、該受光器29と抵抗R_gとの間に位置する端子t₁と、差動増幅器71の正入力端子とが対数増幅器73を介して接続されている。また、入力光モニタ用受光器28の接地側に抵抗R_iが設けられ、該受光器28と抵抗R_iとの間に位置する端子t₂と、差動増幅器71の負入力端子とが対数増幅器74を介して接続されている。

【0064】そして、差動増幅器71の出力端と差動増幅器72の正入力端子とが接続され、また差動増幅器72の負入力端子には基準電圧V_{ref}が入力されている。従って、光カブラ27（図6参照）で分岐された出力光は、出力光モニタ用受光器29でフォトカレントに光電変換され、また抵抗R_gで生じた電圧降下による電圧V_gが、対数増幅器73からその対数値logV_gとして出力される。また、光カブラ21（図6参照）で分岐された入力光は、入力光モニタ用受光器28でフォトカレン

トに光電変換され、抵抗R_iで生じた電圧降下による電圧V_iが、対数増幅器74からその対数値logV_iとして出力される。また、差動増幅器71からは、これらの差（に比例する値）（logV_g - logV_i = logV_g/V_i）= V_{err}が出力される。そして、差動増幅器72から、入力光に対する出力光の比に対応する電圧V_{out}と基準電圧V_{ref}との差（に比例する値）が出力される。この差動増幅器72の出力Gを、制御電圧V_{cont}〔G（V_{in} - V_{ref}）= V_{cont}〕として利用する。

【0065】例えば、何らかの要因により光カブラ27からの出力光強度が変動すれば、入力光に対する出力光の比に対応する電圧V_{out}と基準電圧V_{ref}との差である差動増幅器72の出力Gが変動する。よって、この出力Gを制御電圧V_{cont}として利用し、制御電圧V_{cont}が増加した場合には、可変光減衰器32（図6参照）の透過率を減少（減衰量を増加）させる。逆に制御電圧V_{cont}が減少した場合には、可変光減衰器32の透過率を増加（減衰量を減少）させる。

【0066】本実施例は、上記のように構成されているから、入力信号光（例えば、波長1.55μm）の一部は光カブラ21で分岐され、残りの入力信号光は合波器22に入力され、励起光制御回路31の制御を受ける励起光源24から出力される励起光（例えば、波長1.48μm）と合波され、Erドープファイバ25に入力される。ここで、励起光は予め設定された値であるシステムに許容される最大値に維持されて出力されている。

【0067】Erドープファイバ25に入力した信号光は、Erドープファイバ25中で増幅作用を受け、励起光阻止フィルタ26に出力される。該励起光阻止フィルタ26に入力した光の内、励起光成分はその進行を阻止され、増幅された信号光と自然放出光のみが光カブラ27に入力され、該光カブラ27でその一部が分岐された後、残りが外部に出力される。

【0068】各々の光カブラ21、27で分岐された一部の入力信号光及び出力光は、各々入力光モニタ用受光器28及び出力光モニタ用受光器29で各々受光されて電気信号に変換され、利得制御回路34に出力される。

【0069】そして、利得制御回路34からは、図7を参照して説明したように、入力光に対する出力光の比に対応する電圧V_{out}と基準電圧V_{ref}との差である制御電圧V_{cont}が出力される。

【0070】今、何らかの負荷変動により出力光が変動した場合には、図7を参照して説明するように利得制御回路34は、出力光の変動を抑制するように可変光減衰器32の減衰量を増減させるから利得は常に一定値に維持され、AGCが実現される。

【0071】この場合、Erドープファイバ25は、励起光制御回路31により充分に励起されているから、光増幅器内部で発生する雑音電力に比例する自然放出光係数を、広い入力レベルにおいて常に低い状態に維持でき

る。よって、広い入力レベルにおいて、低雑音でAGCが実現される。

【0072】図8は、ファラデー回転子を用いて可変光減衰器を構成する例を示す。図8に示すように、ファラデー回転子81を偏光子82及び検光子83で挟み、可変光減衰器を偏光依存性無しに働かせる。

【0073】図示しない入力側の光ファイバよりの入力光をレンズにより平行光とした後、偏光子82（例えば、ルチル偏光分離板）により2つの直交する偏光成分に分離させ、ファラデー回転子81に通す。2つの直交する偏光成分は、ファラデー回転子81中を通過する間にコイル81aが作る磁場Hの強度に応じて各々の偏波面が回転する。その後、検光子83（例えば、ルチル偏光分離板）によって2つの偏光成分は合成されて出力側の図示しない光ファイバへ結合される。

【0074】ここで、ある磁場Hにおいて、特定の（偏波面の）回転角で出力側の光ファイバへの結合効率が最大になる様に調整しておく。この場合、磁場Hの強さを変えることで偏波面の回転角を変えることができるから、図示しない制御回路によってコイル81aが作る磁場Hを変化させれば、出力側の光ファイバに対する結合効率が変化する。即ち、入射した光を所望の割合で減衰させ、出力側の光ファイバへ出力することが偏光依存性無しに実現できる。

【0075】図9は、図8のファラデー回転子を駆動する駆動電流を形成するための電圧-電流変換回路91の構成例であり、(a)は模式的回路例、(b)はその動作説明図である。

【0076】図3の信号光出力制御回路33及び図6の利得制御回路34においては、各々制御電圧 $V_{c, \dots}$ により可変光減衰器32を制御するとしていた。ここで、ファラデー回転子81は、電流によって制御されるので、上記の電圧-電流変換回路91が必要になる。

【0077】図9(a)に示すように、電界効果トランジスタ(FET)92のソース(S)とドレイン(D)間に、抵抗R、とファラデー回転子81のコイル81aと電圧源93から成る直列回路を接続する。そして、ゲート(G)とソース(S)間には、上記制御電圧 $V_{c, \dots}$ を印加する。コイル81aには、制御電流 $I_{c, \dots}$ が流れ、その増減によりファラデー回転子81のコイル81aが作る磁場Hが変化して、減衰量が増加する。

【0078】図9(b)に示すように、出力光強度が増加すると制御電圧 $V_{c, \dots}$ は増加し、コイル81aへ流れる制御電流 $I_{c, \dots}$ が減少する。よって、ファラデー回転子81の磁場Hが減少しファラデー回転子81を通過する偏光成分の偏波面の回転角が減少する。そのため、図示しない出力側の光ファイバへの結合効率が低下し、減衰量が増大する。

【0079】逆に、出力光強度が減少すると制御電圧 $V_{c, \dots}$ は減少し、コイル81aへ流れる制御電流 $I_{c, \dots}$ が

増加する。よって、ファラデー回転子81の磁場Hが増加し偏光成分の偏波面の回転角が増加する。そのため、出力側の光ファイバへの結合効率が上昇し、減衰量が減少する。

【0080】図10は、半導体変調器を用いて可変光減衰器を構成する例を示す。(a)は可変光減衰器の概念的ブロック図、(b)は偏光依存性を無くするための構成例、(c)は半導体変調器の例、(d)は透過率特性図である。

【0081】図10(a)に示すように、偏光依存性の無い半導体変調器101に入力光の方向と直角方向に制御電圧を印加し、該制御電圧を増減させれば、所望の量減衰された出力光が得られる。

【0082】半導体変調器が偏光依存性を有している場合であっても、図10(b)に示すように、2台の半導体変調器102、103を、互いに制御電圧の印加方向が直交する様に配置することで、各々の半導体変調器102、103が有する偏光依存性が相殺され、偏光依存性の無い可変光減衰器を構成することができる。

【0083】半導体変調器は、例えばElectronics Letters 15th September 1988 Vol.24No.19pp. 1194・1195に記載されているように、図10(c)に示される構成のものが知られている。

【0084】図10(c)に示すように、半導体変調器は基板(n-InP)上にSi-InP層が設けられ、該Si-InP層上に形成された絶縁膜(SiO₂)上にポリイミド(Polyimide)層が設けられている。そして、該半導体変調器の左側面に一部が現われているように、導波路(GaInAsP)が上記Si-InP層の中央部に形成され、該導波路(GaInAsP)上にはクラッド層(p-InP)が形成されるとともにその上部にキャップ層(p'-GaInAsP)が設けられている。さらに、該キャップ層(p'-GaInAsP)とその周辺の上記ポリイミド層の上部に、及び上記基板(n-InP)の下面に各々電極(electrode)が形成されている。

【0085】半導体変調器は、半導体に電圧をかけると吸収端が長波長側にシフトする効果であるFranz-Keldysh効果を利用したものである。即ち半導体に電圧を印加すると、エネルギーバンド構造に傾斜がつき、バンドギャップが狭くなったようになるという現象である。従って、半導体に吸収端付近の波長をもった光を通しておき電圧をかけると、光は吸収されることになる。尚、半導体変調器の場合、入力光の振幅が変調される。

【0086】そして、印加される制御電圧に対する透過率の特性は、図10(d)に示されるようであり、制御電圧が増加すれば透過率は直線的に減少(減衰量が増加)する。即ち、入力光の一部が吸収されて、光の減衰が生じる。

【0087】図11は、液晶を用いて可変光減衰器を構

成する例を示す。ファラデー回転子81の場合と同様に、液晶111を偏光子112及び検光子113で挟み、可変光減衰器を偏光依存性無しに働かせる。

【0088】液晶111を例えばTNモードで用する。即ち、電界をかけないときは基板間で液晶分子基軸を90°ねじり、偏光を90°回転させる効果を持たせておき、これに電界をかけてねじれ配向から電界方向への配向に変換し偏光の回転をなくす、いわゆるツイステッド・ネマチック方式である。

【0089】入力側の光ファイバ113からの入力光を偏光子112で2つの直交する偏光成分に分離する。各々の偏光成分光は液晶111を通過することにより、印加される制御電圧の強度に応じて各々の偏波面が回転する。その後、検光子113によって2つの偏光成分光は合波されて出力側の光ファイバ115に結合される。

【0090】ここで、ある制御電圧において特定の(偏波面の)回転角で出力側の光ファイバへの結合効率が最大になる様に調整しておく。この場合、制御電圧の大きさを偏波面の回転角を変えることができる。よって、図示しない制御回路によって印加する制御電圧を変えれば、出力側の光ファイバ115に対する結合効率が変化する。即ち、入射した光を所望の割合で出力側の光ファイバ115へ出力することが、偏光依存性無しに実現できる。

【0091】図12は、光の結合系における結合位置を変化させて可変光減衰器を構成する例を示す。光の結合系121において、入力側の光ファイバ122からの入力光は、前方レンズ123で平行光とされ、後方レンズ124を通過して出力側の光ファイバ125に入力する。

【0092】上記において、出力側の光ファイバ125の端面が後方レンズ124の焦点位置にあるときに、出力側のファイバ125への結合効率が最大となる。そして、出力側の光ファイバ125の端面を後方レンズ124の焦点から離間させるに従い結合効率は低下する。

【0093】即ち、出力側ファイバ125を図示しない制御回路からの制御信号により矢印で示す光軸方向に移動させる手段を設け、後方レンズ124に対する位置を変化させることで、結合効率を変化させ、所望の減衰量を得ることができる。

【0094】また、出力側のファイバ125を移動させるのではなく、入力側のファイバ122を移動させるようにしてもよく、また、前方レンズ123または後方レンズ124を移動させるようにしても良い。

【0095】図13は、円板状の光減衰器を用いて可変光減衰器を構成する例である。円板状の光減衰器131は、円周方向で減衰量が連続的に異なっている。図13に示すように、入力側の光ファイバ132から入力する光を前方レンズ133により平行光とし、円板状の光減衰器131を通過させ後方レンズ134により出力側の

光ファイバ135に導く。円板状の光減衰器131を図示しない制御回路からの制御信号により矢印の如く回転させる手段を設ける。制御信号に応じて円板が回転することで、所望の減衰量が得られる。

【0096】図14は、光学フィルタのフィルタ特性を利用して可変光減衰器を構成する例である。(a)はその構成図、(b)は減衰量可変の原理図である。例えば、光学フィルタとして、光バンドパスフィルタとしてよく知られている誘電体多層膜141を用いる。誘電体多層膜141は、一般に入力光の入射角度により中心波長 λ_c が変化する。

【0097】図14(a)に示すように、入力側の光ファイバ142から入力する光を前方レンズ143により平行光とし、誘電体多層膜141を通過させ後方レンズ144により出力側の光ファイバ145に導く。誘電体多層膜141を図示しない制御回路からの制御信号により矢印の如く回転させる手段を設ける。

【0098】図14(b)に示すように、誘電体多層膜141が回転したことによって、透過率曲線が点線から実線で示すように移動して、フィルタの中心波長 λ_c が例えば信号光の波長 λ_s より左側にズレて、透過率が減少(減衰量が増加)する。即ち、制御信号に応じて誘電体多層膜141が回転すれば、信号光波長に対する減衰量が変化する。尚、光学フィルタとしては、誘電体多層膜に限られることはない。

【0099】上記の図8及び図10乃至図14に示した何れの構成の可変光減衰器も、本発明のAPCを実現する光増幅器制御システム及びAGCを実現する光増幅器制御システムに適用できるものである。この場合、偏光依存性が無いから信号の歪みがなく、反対減衰量を充分に取れるから反射光が光増幅媒体に戻ることはなく、光増幅器の動作が不安定とはならない。

【0100】そして、本発明においては、APC及びAGCの実現を従来のように励起光強度を変化させて行うのではなく、励起光をシステムに許容される最大値に一定に保持し、光増幅媒体を充分に励起しておいて行う。

【0101】従って、光増幅器内部で発生する雑音電力に比例する自然放出係数を、広い入力レベルにおいて常に低い状態に維持することが可能となり、低雑音な光増幅器制御システムが実現される。よって、同一光増幅器を光前置増幅器、光中継器、光電力増幅器として目的に応じて使用することが可能となる。

【0102】尚、上記図3及び図6に示した実施例は、入力信号光が光増幅媒体へ入射する方向と同方向から励起する前方励起構成となっているが、入力信号光とは反対方向から励起する後方励起構成とすることもできる。

【0103】また、光増幅媒体をErドープファイバを例にとり説明したが、これに限られず、ネオジウム(Neodymium, Nd)或いはプラセオジウム(Praseodymium, Pr)等の希土類元素がドープされた媒体であっても良い。

【0104】

【発明の効果】以上のように、本発明の第1の態様によれば、光増幅媒体を十分に励起しておいて、光増幅器の光出力レベルの制御は別に設けた光出力制御部で行うようにしているから、広い入力レベルにおいて低雑音で自動光出力制御（APC）が実現される。

【0105】また、本発明の第2の態様によれば、光増幅媒体を十分に励起しておいて、光増幅器の利得の制御は別に設けた利得制御部で行うようにしているから、広い入力レベルにおいて低雑音で自動利得制御（AGC）が実現される。

【0106】従って、同一光増幅器を光前置増幅器、光中継器、光電力増幅器として目的に応じて使用することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の態様の原理ブロック図である。

【図2】本発明の第2の態様の原理ブロック図である。

【図3】本発明のAPCを実現する光増幅器制御システムの構成を示す図である。

【図4】図3の信号光出力制御回路の構成図であり、(a)は模式的回路例、(b)は(a)の回路の出力の説明図、(c)は(a)の回路の動作の概念的説明図である。

【図5】図3の信号光出力制御回路の他の例の構成図であり、(a)は模式的回路例、(b)は(a)の回路の出力Gの説明図、(c)は(a)の回路の動作の概念的説明図である。

【図6】本発明のAGCを実現する光増幅器制御システムの構成を示す図である。

【図7】図6に示す利得制御回路の模式的構成図である。

【図8】ファラデー回転子を用いて可変光減衰器を構成

する例を示す図である。

【図9】図8のファラデー回転子を駆動する駆動電流を形成するための電圧-電流変換回路の構成例を示す図であり、(a)は模式的回路例、(b)は(a)の回路の動作説明図である。

【図10】半導体変調器を用いて可変光減衰器を構成する例を示す図であり、(a)は概念的ブロック図、(b)は偏光依存性を無くするための構成例、(c)は半導体変調器の例、(d)は透過率特性図である。

10 【図11】液晶を用いて可変光減衰器を構成する例を示す図である。

【図12】光の結合系における結合位置を変化させて可変光減衰器を構成する例を示す図である。

【図13】円板状の減衰器を用いて可変光減衰器を構成する例を示す図である。

【図14】光学フィルタのフィルタ特性を利用して可変光減衰器を構成する例を示す図である。

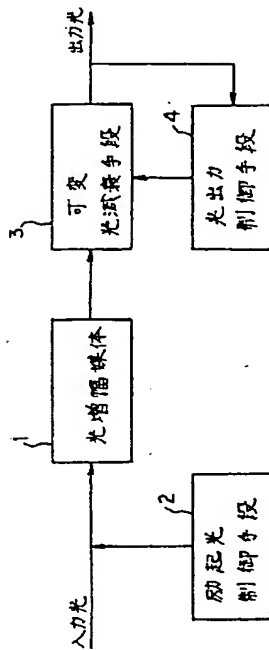
【図15】従来の光増幅器の構成例を示す図である。

【符号の説明】

20	1	光増幅媒体
	2	励起光制御手段
	3	可変光減衰手段
	4	光出力制御手段
	5	利得制御手段
	8 1	ファラデー回転子
	10 1	半導体変調器
	11 1	液晶
	12 1	光の結合系
	13 1	円板状の光減衰器
30	14 1	光学フィルタ

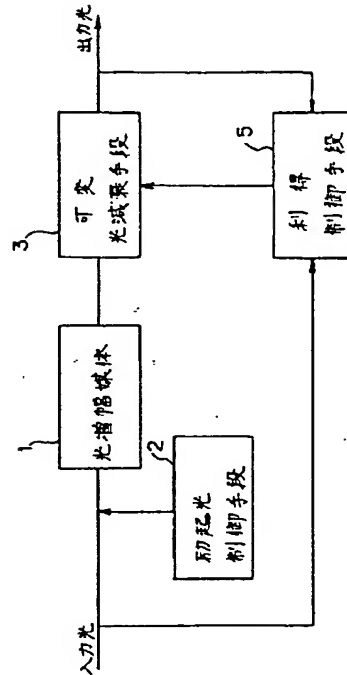
【図1】

本発明のオ1の態様の原理ブロック図

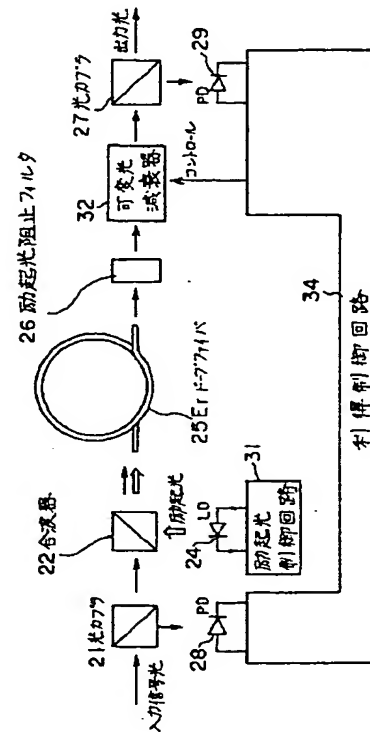


【図2】

本発明のオ2の態様の原理ブロック図

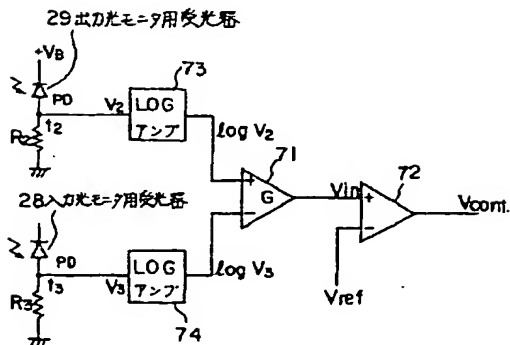


【図6】

本発明のAGCを実現する光増幅器制御システム
の構成を示す図

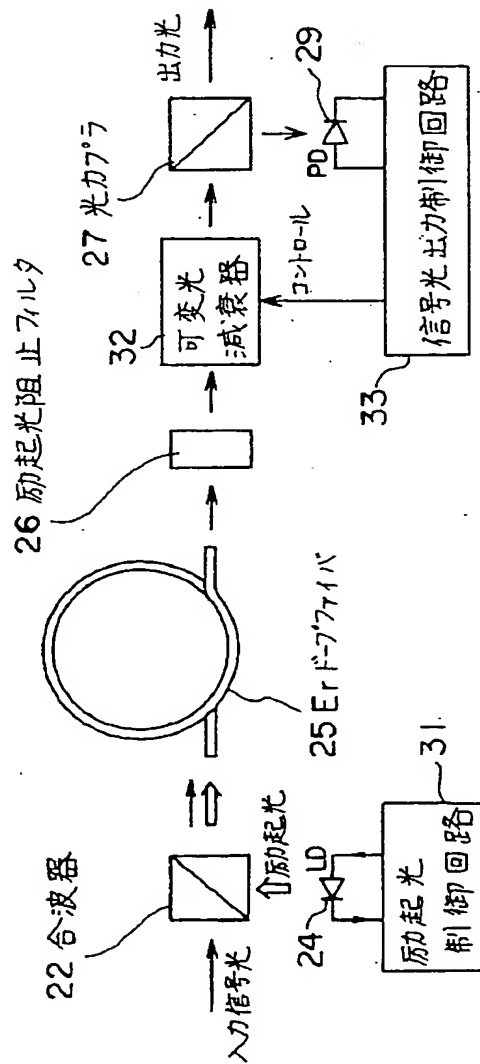
【図7】

図6に示す利得制御回路の模式的構成図



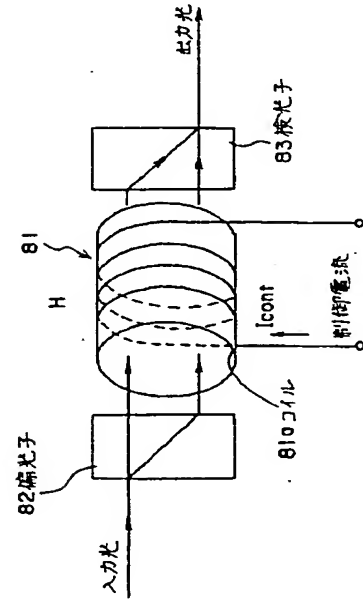
【図3】

本発明のAPCを実現する光増幅器制御システムの構成を示す図



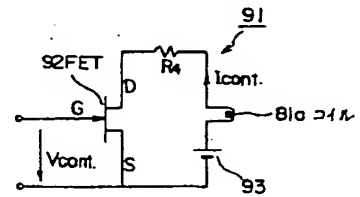
【図8】

フレラデー回転子を用いて可変光減衰器を構成する例

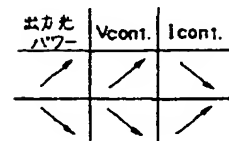


【図9】

図8のフレラデー回転子を駆動する駆動電流を形成するための電圧-電流変換回路の構成例



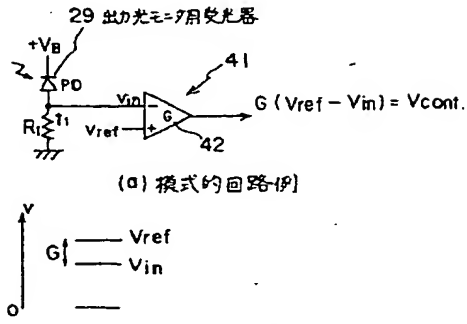
(a) 回路例



(b) 動作説明図

【図4】

図3の信号光出力制御回路の構成図



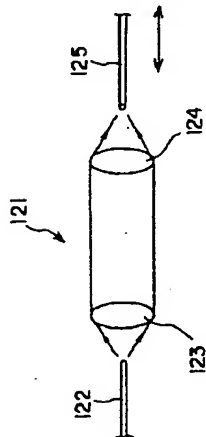
(b) 出力Gの説明図

出力光 パワー	Vcont.	減衰器の 透過率
↑	↓	↓
↓	↑	↑

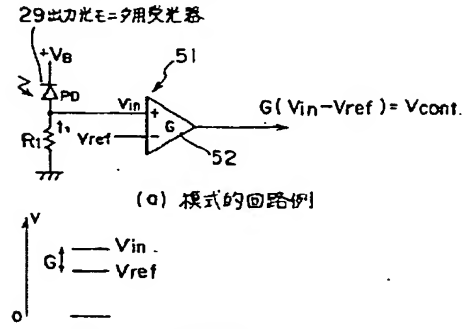
(c) 動作の概念的説明図

【図12】

光の結合系に於ける結合位置を変化させて
可変光減衰器を構成する例



【図5】

図3の信号光出力制御回路の他の例の
構成図

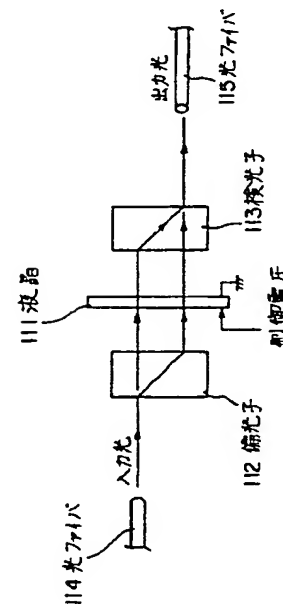
(b) 出力Gの説明図

出力光 パワー	Vcont.	減衰器の 透過率
↑	↓	↓
↓	↑	↑

(c) 動作の概念的説明図

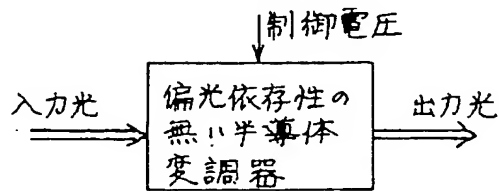
【図11】

液晶を用いて可変光減衰器を構成する例

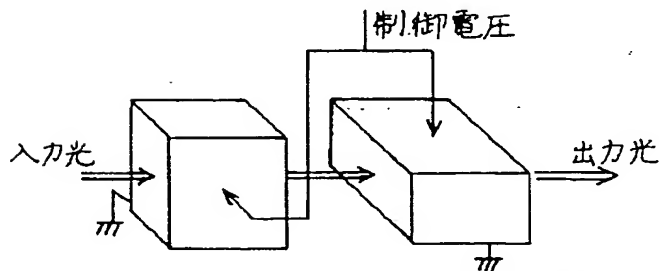


【図10】

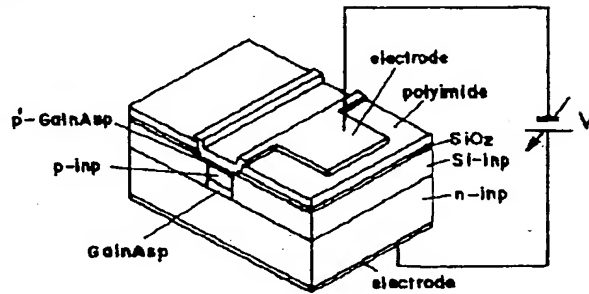
半導体変調器を用いて可変光減衰器を
構成する例



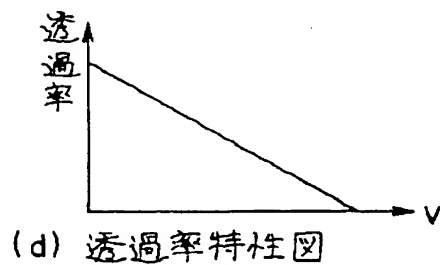
(a) 概念的ブロック図



(b) 偏光依存性を無くするための構成例



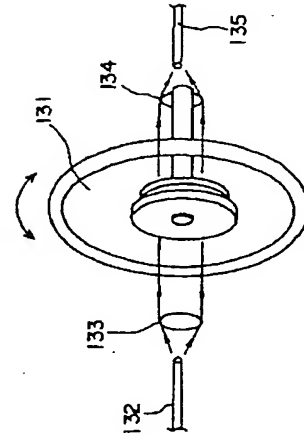
(c) 半導体変調器の例



(d) 透過率特性図

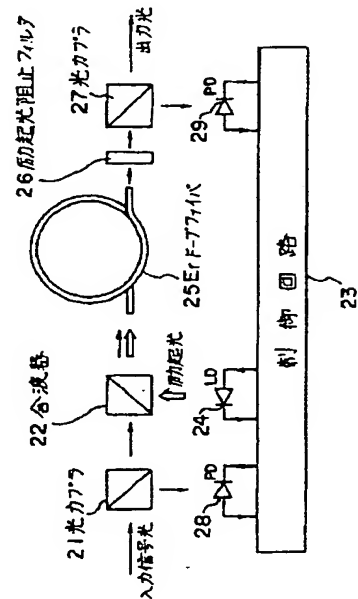
【図13】

円板状の減衰器を用いて可変光減衰器
を構成する例



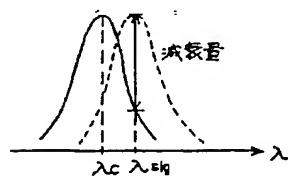
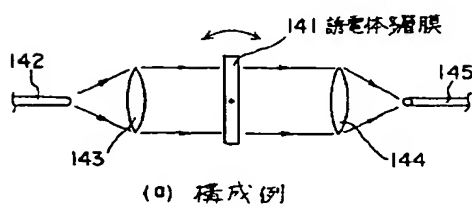
【図15】

従来の光増幅器の構成例



【図14】

光学フィルタのフィルタ特性を利用して
可変光減衰器を構成する例



(b) 減衰量可変の原理

フロントページの続き

(51)Int.Cl.³

H04B 10/16

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所